

Estado del arte de la Planificación Colaborativa en la Cadena de Suministro: Contexto Determinista e Incierto

Imma Ribas Vila¹, Ramon Companys Pascual¹,

¹ Departament d'Organització d'Empreses. Escola Politècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona .
Avinguda Diagonal 647. 08028 Barcelona imma.ribas@upc.edu, ramon.companys@upc.edu

Resumen

En la economía actual, el resultado de las empresas depende en gran medida del éxito con el que se gestione la colaboración en su Cadena de Suministro (CdS). La globalización actual ha permitido a las empresas tener centros de almacenaje y distribución, propios o subcontratados, que pueden estar dispersos geográficamente y contar, al mismo tiempo, con proveedores en zonas alejadas provocando plazos de entrega más dilatados. La sincronización de los diversos agentes involucrados en la CdS, así como la relación que pueden establecer entre ellos requiere una Planificación Colaborativa entre los diferentes agentes con el fin de trabajar coordinados para poder satisfacer las exigencias de un mercado cada vez más competitivo. En este trabajo de investigación se revisa y se clasifica la literatura referente a la planificación colaborativa de la CdS.

Palabras clave: Planificación Colaborativa, Cadena de Suministro, Modelos

1. Introducción

El concepto de cadena de suministro ya aparece claramente en los trabajos de Forrester cuando sugirió que el éxito de las empresas dependía de la interacción entre el flujo de información, materiales, pedidos, dinero, mano de obra y equipos (Forrester, 1961), y declaró que la comprensión y control de estos flujos era el trabajo principal de la gestión. Forrester utilizó en sus experimentos de simulación, la cadena de la Figura 1, que es un modelo de cadena de suministro, compuesto por 4 niveles (fábrica, almacén, distribuidor y minorista).

A través de dichos experimentos estudió algunos de los efectos indeseados que el encadenamiento de etapas puede producir (en particular el del ahora llamado efecto *bullwhip*).

Según Companys (2005) la cadena de suministro (SC) es una red de organizaciones interrelacionadas que intervienen en diferentes fases del proceso productivo mediante actividades que pretenden añadir valor, desde el punto de vista del cliente, al producto, bien o servicio.

Para Standler (2005), la gestión de la cadena de suministro (SCM) es la tarea de integrar diferentes organizaciones a lo largo de toda la cadena coordinando el flujo de materiales, información y finanzas de forma que satisfaga la demanda de los clientes incrementando la competitividad de toda la cadena. Este proceso se puede visualizar con la casa del SCM (Figura 2) en la que cada uno de los bloques que la forman permite explicar una faceta de dicha gestión.

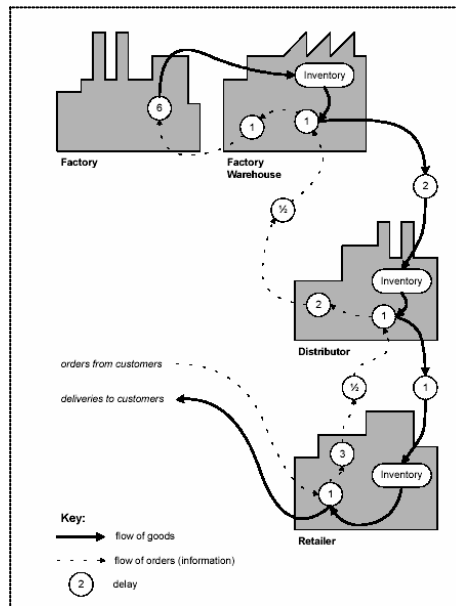


Figura 1. Cadena de suministro de Forrester (Forrester, 1961)

El tejado de la casa muestra el objetivo final del SCM, la competitividad y el servicio al cliente. Los pilares que lo soportan representan, por un lado, la integración de las unidades de negocio que forman la cadena de suministro y por otro, la coordinación necesaria que debe existir entre ellas, a todos los niveles.

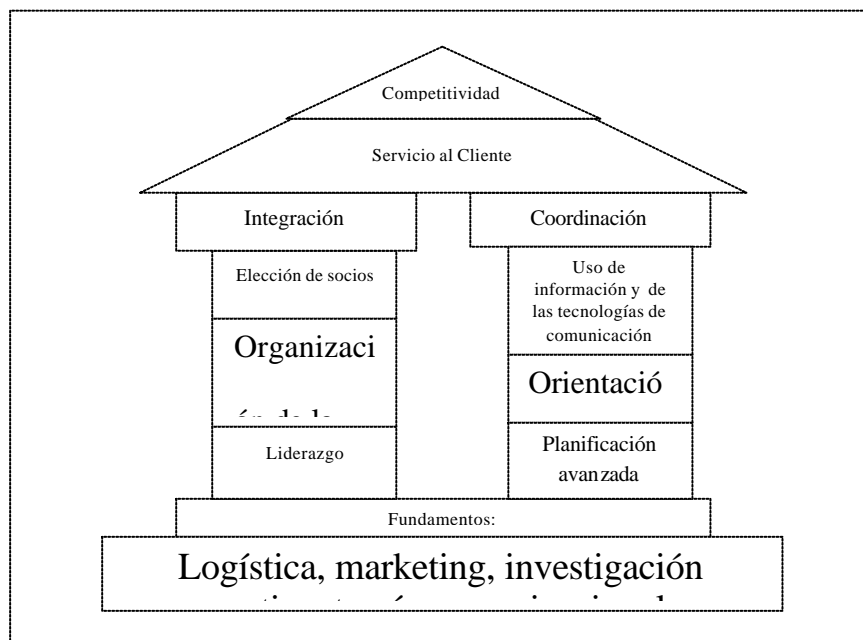


Figura 2. La casa del SCM (Standtler, 2002, p.10)

Examinando el pilar de la *integración* se ve que está compuesto, en un primer nivel, por la *elección de los socios*, organizaciones que permitan aportar valor al producto final de forma que satisfaga las necesidades de los clientes. El segundo nivel lo forma la *red de organizaciones* que permite definir la relación de colaboración que deberá existir entre las diferentes empresas que formen parte de la cadena de suministro. Finalmente, el tercer bloque

es el *liderazgo* en la cadena de suministro que define la jerarquía entre las empresas participantes. En este sentido se puede hablar, desde cadenas formadas por una empresa que domine a las demás, empresa focal, ya sea por su posición financiera o por su conocimiento del producto o proceso, hasta cadenas formadas por un conglomerado de empresas que se encuentran a un mismo nivel.

El pilar de la *coordinación* permite definir como debe ser el flujo de información, material y financiero entre las empresas que forman parte de la cadena de suministro. Este pilar está formado por los bloques:

- *Uso de información y de las tecnologías de comunicación.*
- *Orientación al proceso*
- *Planificación avanzada*

Las nuevas tecnologías permiten a las empresas intercambiar información on-line a través de Internet. De esta forma, los datos de ventas, previsión, pedidos... se pueden compartir de forma inmediata permitiendo reducir el plazo de entrega y en consecuencia el efecto *bullwhip* (o efecto Forrester). Además, a través de los almacenes de datos se puede guardar información a gran nivel de detalle y profundidad que permite mantener las estadísticas actualizadas y definir indicadores de gestión como soporte a la toma de decisiones.

Según Hantmer (2001), incrementar la eficiencia del proceso a través de las empresas es la siguiente frontera para reducir costes, mejorar la calidad y agilizar las operaciones. La orientación del proceso propone eliminar barreras no sólo entre los procesos de negocios de la empresa si no entre las empresas para simplificar las actividades, hacerlas más eficientes y eliminar las tareas duplicadas.

Finalmente, las empresas de software de gestión han desarrollado nueva funcionalidad o módulos en sus productos, ERP, que permite planificar la cadena de suministro a diferentes niveles. Estos nuevos módulos se conocen con el nombre de *Advanced Planning Systems* (APS).

2. Planificación colaborativa

Según Companys (2003) La planificación es una actividad muy genérica y por consiguiente puede referirse a fenómenos muy distintos con enfoques y grado de detalle también distintos. La concepción jerárquica de la planificación presupone diversos niveles correlacionados de planificación, en el que cada nivel tiene mayor horizonte que el siguiente y constituye para éste una reducción del intervalo de variación del objeto (Figura 3).

La jerarquización de los planes es tal que, dados dos consecutivos, el de rango superior enmarca al del rango siguiente en el que actúa contribuyendo, a la vez, en la concreción de sus objetivos y en la reducción de su variabilidad a través de la introducción de condicionantes o restricciones.

La planificación y el control de las operaciones como por ejemplo la producción, la gestión de stocks, y el proceso de distribución a lo largo de la cadena de suministro son un aspecto clave en el SCM. *Rodhe et al. (2000)* identificaron varias tareas de planificación relevantes y las clasificaron en dos dimensiones, el horizonte de planificación y el proceso de la cadena de suministro, formando una matriz conocida como la matriz de planificación de la cadena de

suministro (Figura 4).

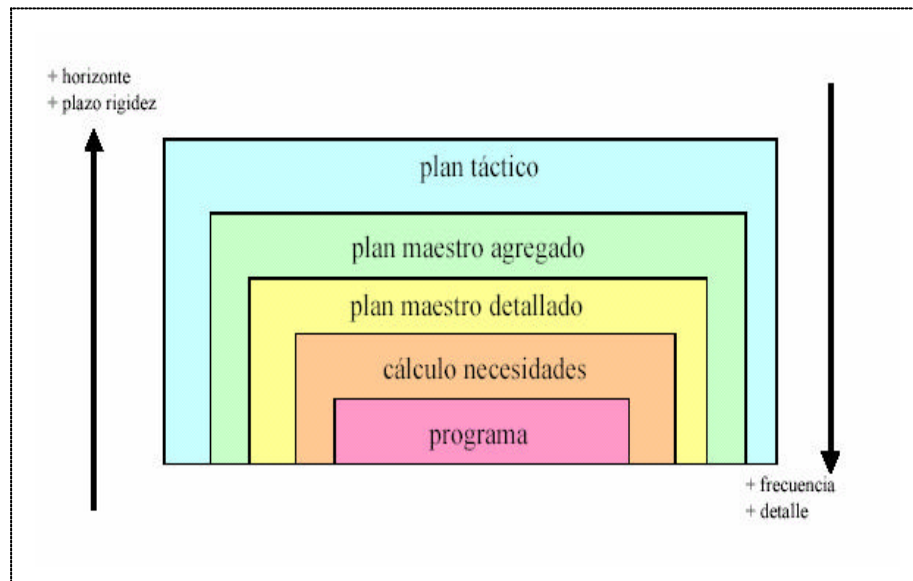


Figura 3. Engarce de los planes (Company's 2003)

A nivel operativo el plan maestro de planificación (MP) juega un papel crucial ya que permite equilibrar el suministro con la demanda a lo largo del horizonte de planificación y sincronizar las operaciones a través del SC (Rohde y Wagner, 2000). Para conseguir este objetivo se propone una única tarea de planificación centralizada para toda la cadena como muestra la Figura 4. Esta planificación centralizada requiere un alto grado de integración entre las diferentes unidades que forman parte de ella. La cuestión radica en como se puede integrar y coordinar la planificación entre las diferentes partes.

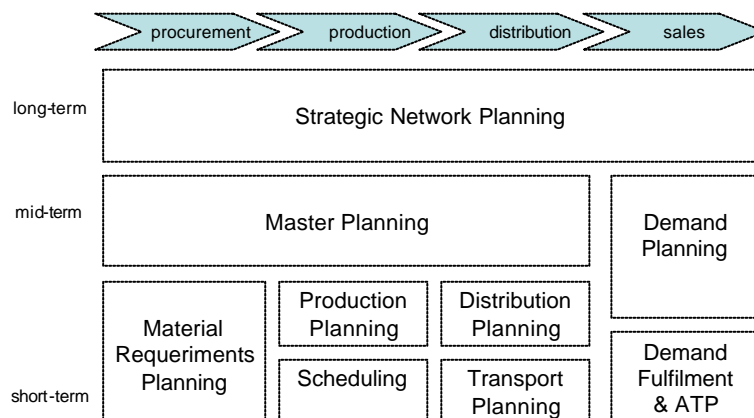


Figura 4. Matriz de planificación de la cadena de suministro (Rohde et al, 2000)

El término *dominio de planificación* indica el ámbito de planificación que corresponde a una única organización dentro de la cadena de suministro. El proceso de planificación colaborativa pretende extender la planificación entre múltiples *dominios de planificación*. La idea es conectar el dominio de planificación de cada una de las organizaciones para intercambiar la información relevante para el proceso de planificación global. De esta forma, los datos necesarios para la planificación se actualizan ágilmente pudiendo obtener resultados más precisos. La figura 5 muestra la conexión a través de la colaboración entre dos dominios de planificación.

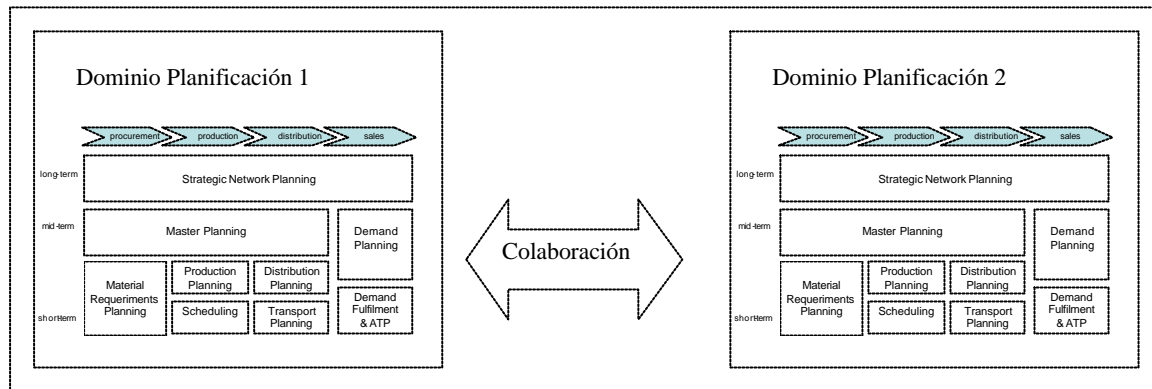


Figura 5. La Colaboración entre dominios de planificación

El concepto de planificación colaborativa se puede aplicar tanto al proceso de planificación que se extiende hacia los clientes como al proceso de planificación hacia los proveedores. En los últimos años han aparecido nuevos conceptos en diferentes sectores que pretenden reconciliar ambos procesos como por ejemplo:

Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR), en el sector del gran consumo. CPFR es una iniciativa entre todos los participantes en la cadena de suministro que intenta mejorar la relación entre ellos a través de una gestión conjunta del proceso de planificación y de un intercambio de información. Su objetivo principal es incrementar la precisión en la previsión de ventas y en los planes de aprovisionamiento para disminuir el nivel de inventario a lo largo de la cadena de suministro consiguiendo un alto nivel de servicio. Esto sólo es posible cuando las empresas colaboran compartiendo información a través de un conjunto de procesos comunes. La comunicación entre los socios sigue un protocolo estándar de comunicación común fijado por el mismo sector.

Collaborative Development Chain Management (CDCM) que sigue las ideas de ingeniería simultánea centrándose en el desarrollo de productos, conjuntamente entre varios socios, a través de sistemas basados en la tecnología web.

2.1. Tipos de Colaboración

Una forma de clasificar los tipos de colaboración se basa en la situación relativa de las entidades que se coordinan dentro de la red. De esta forma distinguimos principalmente dos posiciones que conducen a dos tipos de colaboración: la coordinación vertical o jerárquica y la coordinación horizontal.

La coordinación jerárquica, o vertical, implica la toma de decisiones en un nivel superior común generando instrucciones sincronizadas a los niveles inferiores desde una perspectiva centralizada.

La coordinación horizontal, en cambio, implica consenso, acuerdo de objetivos, indicadores y reglas de igualdad entre los socios. Esta coordinación se consigue, normalmente, a través de la comunicación y procesos de negociación entre los socios.

En todos los procesos de colaboración cabe tener presentes las ideas desarrolladas por los autores de la teoría de juegos, especialmente Nash y Shapley. No sólo es importante saber si es posible y estable la colaboración, sino también la forma razonable de compartir los beneficios que conjuntamente se obtiene de ella.

2.2. Formas de Colaboración

Existen diferentes negocios en los que la disponibilidad de materiales y servicios deben sincronizarse. Por ejemplo, las empresas que suministran equipos informáticos deben disponer de los técnicos necesarios (capacidad de servicio) para instalar los equipos en casa del cliente. Una falta de sincronización en el proceso puede implicar tener un inventario no deseado o mano de obra parada (capacidad perdida). Si las diferentes empresas implicadas en la cadena de suministro trabajan de forma coordinada, intercambiando información crítica, pueden reajustar los planes para dar respuesta a nuevas situaciones evitando así las consecuencias de mantener planes desajustados con la realidad.

Para conseguir que los planes de materiales estén sincronizados entre los diferentes socios de la cadena de suministro se debe realizar una estimación colaborativa de la demanda, gestionar conjuntamente los niveles de inventario (inventario colaborativo) y trabajar con planes de compra consensuados (compras colaborativas). Las empresas que además proveen servicios deben trabajar con planes de capacidad consensuados.

2.2.1 Estimación Colaborativa de la Demanda

La estimación colaborativa de la demanda permite hacer una previsión consensuada entre los diferentes departamentos de una empresa o entre las diferentes empresas involucradas en la cadena de suministro conectando entre sí el proceso de previsión de los diferentes dominios de planificación. El objetivo de esta previsión colaborativa es, por ejemplo, la planificación conjunta de una promoción.

2.2.2 Compra colaborativa

La compra colaborativa conecta el proceso de planificación con el dominio de planificación del proveedor. A medio plazo, la compra colaborativa informa sobre las limitaciones de suministro de material al plan maestro y en el corto plazo informa de desajustes en el plan de compra consensuado que pueden afectar a los programas de producción.

2.2.3 Inventarios Colaborativos

El concepto *Vendor Managed Inventory* (VMI) implica que el proveedor es el encargado de “vigilar” el nivel de inventario del cliente. El proveedor planifica sus necesidades de materiales a través de la previsión de ventas del cliente y el nivel de inventario deseado. De esta forma, el cliente se olvida del proceso de compra a cambio de facilitarle la información necesaria, y el proveedor puede diseñar su plan de materiales en sincronía con las necesidades de su cliente.

2.2.3 Capacidad Colaborativa

La capacidad colaborativa permite consensuar el plan de capacidad contratado o disponible con sus clientes. Si un productor puede subcontratar parte de su producción a otro productor, deseará saber con qué capacidad puede contar y el proveedor deseará saber qué plan de producción tiene previsto contratarle para asegurar un nivel de carga determinado. Normalmente ambas partes negocian un nivel mínimo y máximo de capacidad.

2.3. Relaciones de Colaboración

Los tipos de colaboración anteriores describen colaboraciones a un nivel, conectando los clientes con su proveedor inmediato. Si la cadena de suministro se extiende a través de diferentes socios es interesante establecer una relación que conecte el cliente con cada uno de ellos de forma que puedan acceder al mismo tiempo a información relevante que implique ajustes en el plan de suministro.

Según *Kilger y Reuter (2002)* una relación de colaboración exitosa implica que uno de los socios dirija el proceso de planificación colaborativa y defina las reglas y estándares de colaboración. Este modelo de colaboración se puede asimilar al modelo organizativo de Empresa Extendida. Sin embargo, últimamente se conocen experiencias satisfactorias de cadenas de suministro en las que los diferentes socios se organizan a modo de empresa virtual, sin que ninguna tenga una posición de liderazgo sobre las demás.

2.4 Proceso de Planificación Colaborativo

Una vez se ha acordado la relación de colaboración entre las diferentes empresas, se inicia un proceso de colaboración que pasa, normalmente, por las siguientes etapas (Figura 6), de forma cíclica:

1. Definición
2. Planificación en el dominio local
3. Plan de intercambio
4. Negociación y manejo de excepciones
5. Ejecución
6. Medidas de los resultados

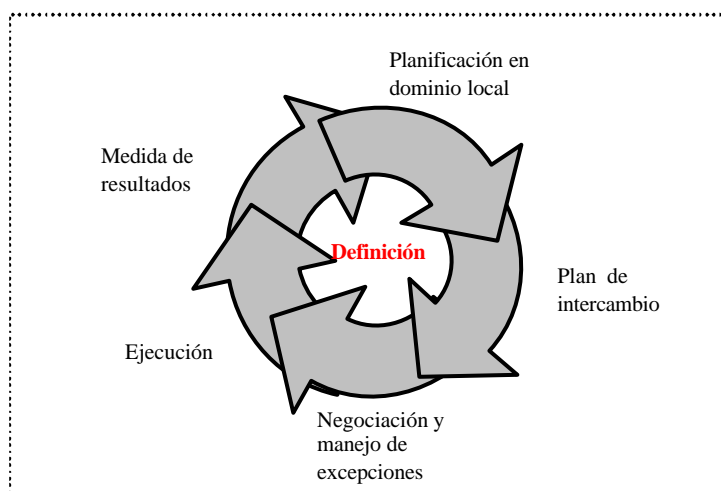


Figura 6. Proceso genérico de Colaboración (Standler y Kilger (2002))

La definición del tipo de colaboración entre los socios implica un acuerdo formal que defina el camino a seguir conjuntamente. Este acuerdo, según *Anderson y Narus, en Stadtler y Kilger (2002)*, debe definir la implicación de cada socio y los beneficios a obtener, los productos o servicios en colaboración, el horizonte de colaboración y los mecanismos de resolución de conflictos.

Una vez definida la colaboración se debe generar la planificación de cada empresa, en el ámbito del dominio local, que servirá de base para la comunicación con las demás empresas que forman parte de la cadena de suministro. A continuación se procede al intercambio de información en los términos definidos en el proceso de colaboración. Cada uno de los socios intenta aumentar la calidad de su plan a través de este intercambio. En función de la precisión de los datos intercambiados, la información puede aportar mayor o menor valor.

El proceso de intercambio de información permite a los socios tener una visión global del proceso de planificación e identificar si se consiguen los objetivos predefinidos. Esta situación requiere un escenario común de planificación en el que los objetivos comunes y las condiciones se puedan medir mediante indicadores. El análisis de desviaciones de los objetivos marcados permite identificar caminos de mejora en planes futuros. Las desviaciones pueden producirse a causa de decisiones tomadas al nivel local, que provocan una desalineación de los planes y que, al detectarse, debe llevar a un proceso de negociación que restablezca la sincronización.

Una vez los planes están alineados se debe proceder a su ejecución, y medir los resultados alcanzados. Si la relación entre los socios es “win-win” (todos salen ganando), los resultados son fácilmente aceptables. Cuando uno de los miembros acuerda “perder” para el beneficio global de la cadena, se puede pactar un desembolso compensatorio. La medida de esta pérdida se puede valorar a través de la desviación sufrida respecto al plan de su dominio local.

2.5 Beneficios de la Colaboración

La planificación llevada a cabo de forma aislada en cada uno de los dominios de las empresas que forman parte de la cadena de suministro conduce a ineficiencias globales que comportan niveles de inventario excesivos o desajustes frecuentes en los planes. La planificación colaborativa trata de eliminar estas ineficiencias y mejorar los resultados obtenidos, globalmente, en la cadena de suministro. Para tener una idea del beneficio que se puede obtener a través de la colaboración se han realizado algunos estudios que se recogen en la literatura.

Bourland *et al* (1996), analiza el efecto de la información en una cadena de suministro formada por dos socios que utilizan periodos fijos de reaprovisionamiento decalados por un intervalo de tiempo fijado. Por ejemplo, el minorista se reaprovisiona los lunes y el proveedor produce los miércoles. Analizan el efecto de compartir la información de ventas del minorista posteriores a su reaprovisionamiento, pero anteriores a la decisión de la cantidad a fabricar por el proveedor. En su estudio demostraron que compartiendo información los niveles de inventario eran menores y que el proveedor aumentaba su nivel de servicio.

Reiman *et al* (1998) consideran una cadena de suministro formada por N socios en serie en que el flujo de material va desde el proveedor de la etapa N hasta la etapa 1 para satisfacer la demanda de los clientes. Cada etapa se reaprovisiona hasta un nivel determinado de acuerdo a una política de punto de pedido. Se comparan los costes operativos de dos variaciones de esta política, una basada en *echelon stock* caracterizada por Clark y Scarf (1960) y otra basada en el punto de pedido de la etapa. Implementan ambas políticas mediante algoritmos eficientes y mediante un estudio computacional, demuestran que utilizando políticas de punto de pedido echelon, que requieren conocimiento del nivel de stock de los socios que están por debajo en la cadena o, equivalentemente, conocimiento de la demanda final por parte de los socios que están por debajo, se consigue una reducción de costes que va del 0 al 9,75%. Observan

además que aumenta cuando crece el número de socios y el plazo de entrega entre dos socios de posiciones adyacentes.

Gavirneni *et al.* (1999) estudian un sistema formado por dos socios en que el proveedor tiene una capacidad fija. Cuando los pedidos superan la capacidad se incurre en horas extras (coste adicional). Ambos socios usan políticas de stock del tipo (s,S). Los autores analizan tres situaciones: en la primera no se comparte información, en la segunda se comparte información de parámetros del sistema, ratios de costes, distribución de la demanda, política de control y parámetros, y la última en que además de la información anterior se comparte datos de demanda actual. Los resultados obtenidos muestran que el segundo supuesto proporciona mejores resultados que el primero ya que permite una reducción de costes del orden del 50% de media y que comparando el tercer supuesto con el segundo, el tercero permite ahorros que pueden ir del 1 al 35% con lo que concluyen que “la información es siempre beneficiosa”. Los autores deberían haber matizado esta conclusión leyendo el artículo que Ackoff publicó en 1967 en *Management Science* bajo el título *Management Misinformation system* en que criticó, según Companys (2003), las cinco hipótesis sobre las que, usualmente, se basa un sistema de información para la gestión:

- **Hipótesis 1:** La deficiencia básica con la que se enfrenta la mayoría de los decisores es la falta de información pertinente. Sin discutir el hecho de que a muchos decisores les falta gran cantidad de la información de la que deberían disponer, Ackoff (1967) considera más grave que sufran una sobreabundancia de información no pertinente.
- **Hipótesis 2:** Los decisores saben la información que necesitan y ésta es la que piden. Para que un decisor sepa que información necesita debe ser consciente de cada tipo de decisión que debe tomar y debe disponer de un modelo adecuado para cada uno de ellos. Raramente se satisfacen estas dos condiciones, salvo para las decisiones más frecuentes y rutinarias, de lo contrario sobrarían la mayoría de los decisores.
- **Hipótesis 3:** Si el decisor dispone de toda la información que necesita, sus decisiones mejorarán. Se supone, frecuentemente, que el gestor no tendrá problemas en usar eficazmente la información que necesita. Algunos de los modelos y de los algoritmos, generados por la investigación operativa y ampliamente utilizados, indican todo lo contrario. En la mayoría de problemas de gestión hay demasiadas posibilidades para esperar buenas conclusiones utilizando únicamente la experiencia, sentido común e intuición, sobre todo si en el fenómeno a gestionar aparecen aspectos probabilísticos.
- **Hipótesis 4:** Mejores comunicaciones significan mejores resultados. Una de las características habituales de los MIS es proporcionar a los gestores en forma regular mejor información sobre lo que otros gestores están haciendo. Se supone que una mejor comunicación interdepartamental permite a los gestores coordinar más eficazmente sus decisiones y como resultado mejorar la eficiencia global de la organización. Frecuentemente no sólo no es así, sino que ocurre lo contrario, si la mejora de los índices de eficiencia de un departamento se hacen a costa de los índices de otro. No parece que deba esperarse que dos empresas competidoras se vuelvan más cooperativas por el hecho de que se mejore la información que cada una posee sobre la otra.
- **Hipótesis 5:** El decisor no necesita comprender cómo funciona un sistema de información, sólo saberlo utilizar (lo que impide que puedan evaluar el MIS como un todo)

Cachon y Fisher (2000) consideran una cadena de suministro formada por un proveedor y N minoristas idénticos. El reaprovisionamiento se hace en múltiplos de un tamaño de lote determinado y basado en políticas de stock como las de Reiman *et al* (1998). Comparan los resultados de una política basada en la información local respecto a una política en que el proveedor conoce el nivel de inventario de los minoristas. Mediante simulación observaron que compartiendo información se consigue una reducción media de costes del 2,2% pero que disminuyendo el tamaño de lote acerca del 50% o el tiempo de entrega se obtenían disminuciones en el coste del 27% y 21% respectivamente. Con estos resultados concluyeron que mejorando características operacionales, posibles gracias al avance de las tecnologías de la información, se consiguen mejores resultados que con un puro intercambio de información.

Lee *et al* (2000) estudian una cadena de suministro formada por un proveedor y un minorista en que la demanda del minorista tiene una auto correlación simple, es decir, la demanda de un periodo está parcialmente influenciada por la demanda del periodo anterior. De esta forma, la demanda del periodo t , (D_t), se calcula según la fórmula $D_t = d + rD_{t-1} + \epsilon_t$ con $d > 0$, $-1 < r < 1$ y ϵ_t siguiendo una distribución normal de media 0 y variancia σ^2 . Los autores comparan dos modelos, en el primer modelo se trabaja con información local y en el segundo el proveedor conoce la demanda del minorista. Los resultados obtenidos mediante simulación muestran una disminución significativa del coste y de los niveles de inventario para el proveedor cuando trabaja conociendo la demanda del minorista.

De los estudios anteriores se concluye que los beneficios que se pueden obtener compartiendo información entre los socios de la cadena de suministro dependen de las características del problema o del modelo implementado. De todas formas, se pueden extraer algunas conclusiones comunes como: que la información adicional siempre es beneficiosa, aunque según Ackoff (1967) a veces un exceso de información puede llevar a confusión, o que a medida que la cadena de suministro se hace más compleja aumenta el beneficio obtenido con el intercambio de información.

3. Modelos

La planificación colaborativa en las cadenas de suministro puede desarrollarse a diferentes niveles. Sin ánimo de exhaustividad cabe señalar:

- a nivel diseño: planificación de la capacidad productiva y planificación del desarrollo del producto
- a nivel operaciones: planificación, cálculo de necesidades, programación, lanzamiento.

A nivel de operaciones el plan maestro (PM) juega un papel crucial ya que especifica las tasas de producción y de transporte de productos de forma que la demanda final pueda satisfacerse.

Para garantizar la viabilidad de los planes resultantes, es importante que cualquier decisión sea coherente con las demás y que cumpla con las principales limitaciones del sistema. Para mantener la coherencia es necesario tener en cuenta las interrelaciones entre los procesos individuales (el equilibrio de flujos según la ley de Kirchoff). Por ejemplo, si se necesitan materias primas para fabricar un producto determinado, los niveles de producción deben estar en línea con los materiales que el proveedor puede suministrar, las cantidades a distribuir deben estar en línea con las cantidades a producir...

Las decisiones del PM normalmente están condicionadas con un objetivo económico. Chopra y Meindl (2001) definen que el plan maestro debe satisfacer la demanda maximizando los beneficios de la empresa. Cuando toda la demanda se satisface, los ingresos quedan fijados y maximizar los beneficios equivale a minimizar los costes del suministro de la demanda. Existen otros objetivos orientados a la utilización de recursos o a servir los pedidos a tiempo que se pueden medir mediante la minimización del retraso o la utilización de capacidad.

La planificación y, en particular, la elaboración del PM es un proceso complejo en el que influyen diversos factores tales como los costes relacionados con las compras, producción, inventario, distribución, transporte pudiendo además tener en cuenta ajustes de capacidad de producción, con sus costes asociados, o la posibilidad de tener demanda insatisfecha o diferida debiéndose de tener en cuenta los costes asociados a las ventas perdidas y a las entregas retrasadas. Para llevar a cabo el proceso de planificación se debe crear un modelo que permita manipular todas estas variables. El modelo es una representación de la realidad y no la realidad misma con lo que factores como la aleatoriedad, existentes en el entorno real, quedarán difícilmente reflejados. Finalmente, el planificador necesitará una herramienta de trabajo que permita la explotación del modelo implementado. De todas las herramientas disponibles, la programación matemática suele ser una buena alternativa, y últimamente una de las más utilizadas, dada su flexibilidad.

En el apartado 2.5 se sugiere que la coordinación en las tareas de planificación entre los socios que forman parte de la cadena logística puede aportar beneficios substanciales. La cuestión está en como conseguir esta coordinación. En la literatura se intenta dar respuesta a esta pregunta mediante tres enfoques diferentes: Coordinación a través de contratos, coordinación mediante sistemas multi-agentes y mecanismos de coordinación a través de modelos de programación matemática.

3.1 Coordinación mediante contratos

En las cadenas de suministro formadas por diferentes socios, los contratos de suministro son el medio para regular la relación entre ellos. Los resultados obtenidos mediante decisiones independientes son, a menudo, peores de los que se pueden obtener desde una perspectiva global. Por esta razón, es natural examinar el efecto de los contratos de suministro en el comportamiento de los socios individuales para ajustar las condiciones de forma que las empresas se muevan hacia la obtención de los resultados globales.

3.1.1 Entorno Determinista

Monahan (1984) fue el primero en analizar como los incentivos de coste individuales conducían a resultados globales subóptimos en la cadena de suministro. Específicamente, considera un comprador con demanda determinista para un único producto que compra a un proveedor a un precio y coste de lanzamiento fijo. El proveedor, que tiene un coste de preparación de máquina fijo, inicia la fabricación de un lote cuando le llega una orden de compra. El comprador calcula su lote económico con los parámetros fijados pero este lote no es óptimo desde el punto de vista global ya que no tiene en cuenta el coste de preparación del fabricante. El lote “global”, por tanto, es de mayor tamaño por lo que Monahan (1984) propone que el proveedor incentive al comprador con un descuento si compra lotes de, como mínimo, el tamaño de lote conjunto. Este artículo desencadenó otros artículos en los que los autores ampliaban el modelo inicial como por ejemplo el de Lee y Rosenblatt (1986) en el que eliminaron el supuesto de que la fabricación del proveedor era lote a lote obteniendo un

problema más complejo, o el de Weng (1995) que considera el caso en que la demanda final es sensible al precio o la de Chen et al (2001) que considera un escenario con múltiples compradores y demanda sensible al precio.

En los casos anteriores se asume que la persona que diseña el contrato o el esquema de incentivos dispone de toda la información pero la situación cambia cuando no es así. Corbett y Groote (2000) tratan el problema de Monahan (1984) pero asumen que el comprador tiene un coste de lanzamiento despreciable y que el coste de posesión es desconocido por el proveedor. Sin conocer este coste el proveedor no puede calcular ni el tamaño de lote conjunto ni el descuento que puede ofrecer al comprador, por lo tanto el proveedor ofrece un “menú de contratos” con diferentes tasas de descuento y cantidades mínimas de pedido. Este menú se calcula estimando un intervalo del coste de posesión. Finalmente el comprador elige el esquema de descuento que descubre su coste de posesión. Aunque este esquema mejora el coste resultante no se puede garantizar el óptimo.

Corbett y DeCroix (2001) investigan contratos de colaboración entre comprador y proveedor de material indirecto. En los contratos de compra-venta habituales el proveedor gana por unidad vendida y, por lo tanto, no se siente motivado para ayudar al cliente a disminuir su consumo. Los contratos de colaboración, o de ahorro compartido, pretenden medir el esfuerzo del cliente y del proveedor, ahorro acumulado, y compartirlo entre ambas partes. Constan, normalmente, de una parte fija en concepto de servicio y una parte variable que depende del volumen consumido. En este estudio se interesan por funciones de ahorro en que la parte variable es lineal.

Corbett et al (2005) amplían el estudio de Corbett y DeCroix (2001) permitiendo funciones de ahorro no lineales.

3.1.2 Entorno con Incertidumbre

El modelo básico en un contexto con incertidumbre es el problema del vendedor de periódicos, descrito por Arrow et al (1951) y Morse y Kimball (1951), que debe comprar el producto al proveedor en un contexto de demanda aleatoria. Si el vendedor no compra suficiente cantidad de producto pierde ingresos y ventas potenciales, en cambio si compra demasiada cantidad el excedente puede ser vendido por debajo del precio de mercado. Este modelo permite analizar diferentes formas de compartir riesgos entre los socios de la cadena de suministro. Un contrato que meramente pacte un precio de venta del fabricante al mayorista no lleva a un intento de coordinación, en cambio se pueden elaborar diferentes tipos de contrato que induzcan al vendedor a comprar una cantidad que se corresponda con el tamaño de lote global. En este sentido Lariviere (1999) discute como se puede llegar a la coordinación a través de forzar la cantidad de compra, posibilidad de devolución al proveedor, y a través de un esquema flexible de cantidades. Cachon (2001) muestra una visión general sobre condiciones contractuales para el problema del vendedor de periódicos así como varias extensiones.

Lee y Whang (1999) analiza una cadena de suministro más compleja que se asemeja a un sistema de inventario multi-echelon en serie con demanda final aleatoria. Cada socio compra a su proveedor inmediato y soporta costes de posesión de stock. Los pedidos se satisfacen cumplido el plazo de entrega o quedan pendientes de servir si no hay stock suficiente. La coordinación en este tipo de sistemas implica, también, compartir riesgos ya que el único socio que tiene un coste debido a la demanda de clientes insatisfecha es el que está al final de

la cadena de suministro y los demás participantes no tienen ningún incentivo por acarrear con niveles de inventario más altos. Analizan como se puede implementar la política de control óptima desarrollada por Clark y Scarf (1960) desde la perspectiva de un planificador central, a través de un sofisticado esquema de incentivos.

3.2. Coordinación mediante sistemas multi-agentes

La tecnología de agentes o sistemas multi-agente (SMA) está realizando importantes aportaciones en la resolución de problemas en diversos dominios. Es un nuevo paradigma en la construcción de aplicaciones informáticas en que los agentes son entidades autónomas, que pueden interaccionar entre ellas, y que se responsabilizan de tareas en todo el sistema.

Desde el punto de vista de un sistema multi-agente, la cadena de suministro está compuesta por un conjunto de agentes (software), cada uno responsable de una o varias actividades y que interaccionan entre ellos planificando y ejecutando sus funciones. Un agente es un proceso autónomo orientado a un objetivo que opera asincrónicamente, comunicándose y coordinándose con otros agentes.

Fox et al (2000), describen un sistema para modelar la cadena de suministro mediante agentes funcionales responsables, por ejemplo, de los pedidos de compra, de los transportes o de la programación.

Swaminathan et al (1998) desarrollan una biblioteca de software que contiene dos tipos de agentes: los agentes funcionales y los agentes de control. Los agentes funcionales incluyen elementos de producción (minoristas, centros de distribución, plantas, proveedores, etc.) y los elementos de transporte. Los agentes de control (inventario, demanda, suministro, flujo y controles de información) son utilizados por los agentes funcionales para ayudarles en la toma de decisiones.

Shen y Norrie (1999) revisan el estado del arte de sistemas inteligentes de fabricación basados en agentes dedicando un apartado a la integración entre empresas y la gestión de la cadena de suministro.

Shen et al (2003) presentan los primeros resultados de su investigación sobre el desarrollo de sistemas de agentes colaborativos usando la tecnología de Internet y el lenguaje de programación Java. Proponen una arquitectura para sistemas de agentes colaborativos (CASA) y una infraestructura inicial, como enfoque general, para sistemas de agentes colaborativos basados en Internet.

3.3. Mecanismos de coordinación mediante modelos de programación matemática

En la literatura se proponen dos mecanismos de coordinación para la planificación mediante modelos de programación matemática (MPM): La planificación secuencial de arriba abajo y la aproximación mediante relajación Lagrangiana.

Normalmente cuando se usan modelos de programación matemática para la creación del plan maestro de producción se adoptan algunas hipótesis, entre ellas la que todos los parámetros y variables son deterministas. Es evidente que en la realidad existe cierta aleatoriedad y que, por lo tanto, un modelo determinista no puede representar perfectamente una situación real (ciertas cosas que ocurren en la realidad no son explicables mediante modelos completamente

determinista pero si algo mejor con modelos aleatorios; la realidad no es ni determinista ni aleatoria, es la realidad). Además, los resultados obtenidos mediante modelos lineales sólo pueden ser significativos si la variabilidad existente está entre ciertos límites como apuntan Rodhe y Wagner (2002). Para usar esta técnica en un entorno incierto, el procedimiento estándar, utilizado en la literatura y en la práctica, se basa en la replanificación periódica en un horizonte “deslizante”. De esta forma, un plan que cubre T periodos se implemente parcialmente hasta el periodo T , a partir de este periodo se realiza una nueva planificación con la información actualizada.

3.3.1 Planificación Top-Down

Este esquema de planificación, descrito por Bhatnagar et al (1993), representa el mecanismo más simple que se puede utilizar para coordinar la planificación a través de los diferentes dominios de planificación existentes en la cadena de suministro. La idea es planificar socio por socio y pasar las necesidades resultantes a los proveedores de niveles inferiores. Inicialmente, se planifica el primer nivel basándose en la previsión de las ventas. Los pedidos de compra que se deriven de esta primera planificación se comunican al proveedor. Si el proveedor tiene otro proveedor se repite el esquema como muestra la Figura 7.

Con este esquema de planificación se obtienen mejores resultados que mediante la planificación aislada por parte de cada uno de los socios ya que las planificaciones en los diferentes dominios son coherentes entre sí, y todas ellas, son coherentes con la previsión de ventas. Por lo tanto, se eliminan las ineficiencias debidas a la descoordinación de operaciones que provocan un alto nivel de inventario entre los dominios o la replanificación frecuente por desviaciones entre los pedidos y la previsión de ventas. Sin embargo, el mayor inconveniente es que cada dominio calcula su plan local óptimo, basado en la previsión de ventas o en los pedidos del nivel superior, sin tener en cuenta las consecuencias de las decisiones tomadas localmente. En este sentido los resultados conseguidos son peores que los que se obtendría mediante una planificación centralizada de toda la cadena de suministro.

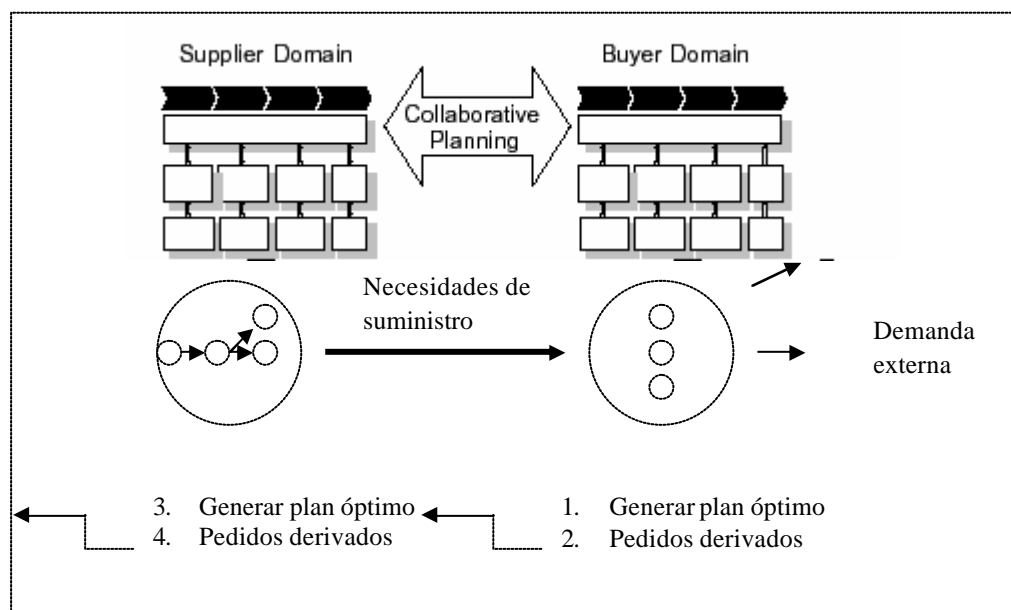


Figura 7. Esquema de planificación Top-down

Simpson y Erengüç (2001) realizan un estudio computacional para cuantificar el nivel de sub-optimalidad en una cadena de suministro formada por 3 fases. En la primera fase considera

varios minoristas que compran diferentes productos a un centro de distribución (fase 2). El centro de distribución se aprovisiona a través de diferentes proveedores (fase3). Las cantidades fijadas o los costes de preparación se equilibran con el coste de posesión de stock al final de periodo en todas las fases. Los costes de lanzamiento en los minoristas son los mismos si se ordena uno o varios productos. Simpson y Erengüc (2001) modelaron esta situación como un problema de tamaño de lote multinivel creando diferentes escenarios de prueba con variaciones en los parámetros de coste y demanda. Los resultados obtenidos muestran que la diferencia entre la planificación de arriba abajo y la centralizada es en promedio del 14,1% pero también muestra que mediante el primer tipo de planificación se suelen obtener soluciones aceptables.

Dado que la planificación *top-down* se puede implementar fácilmente pero los resultados obtenidos son sub-óptimos desde el punto de vista de la cadena global, algunos autores proponen ampliaciones para mejorar la calidad de los resultados. Dudek y Stadtler (2005) proponen un esquema de planificación colaborativa formada por dos fases que interaccionan mutuamente mejorando los resultados de la planificación. La primera fase implica una planificación *top-down* como la propuesta por Bhatnagar et al (1993) y una segunda fase con un esquema de negociación para la planificación colaborativa que propone una modificación en las cantidades pedidas/suministradas a/para los socios, que contribuye a una mejora en la solución global, como propuesta de negociación. El proceso de negociación se puede visualizar en la Tabla 1 que contiene los 4 primeros periodos de un patrón pedidos/suministro. Las cantidades son valores acumulados desde el periodo 1 hasta el periodo t .

Tabla 1. Ejemplo de proceso de negociación

Data exchange	Period item.	1	2	3	4	Cost B	Cost S	Cost total
B → S	1	168	230	363	397	98,667	129,574	228,241
	2	77	239	239	375			
	3	247	347	548	650			
S → B	1	122	363	397	397	102,727	120,122	222,849
	2	239	239	239	431			
	3	247	299	548	650			
B → S	1	95	363	363	426	100,679	120,459	221,038
	2	77	239	239	404			
	3	247	347	548	650			
S → B	1	95	397	397	397	105,451	106,228	211,679
	2	77	404	404	404			
	3	347	442	442	869			

En la parte superior observamos las cantidades solicitadas por el comprador al proveedor basadas en su plan óptimo local. Si el proveedor satisface este patrón de pedidos incurre en un coste de 129,574 unidades monetarias (u.m.) i el coste total de la cadena de suministro es de 228,241 u.m. Basándose en este resultado el proveedor propone unas nuevas cantidades al comprador mostradas en la segunda sección de la Tabla 1 (las cantidades mayores a las solicitadas en negrita y las inferiores, en cursiva y negrita). Las modificaciones propuestas representan un ahorro de 9500 u.m. para el proveedor. El comprador calcula su nuevo coste si acepta este patrón de entregas y comprueba que le supone un incremento de 4000 u.m. aunque supone un coste de 5500 u.m. para el coste global de la cadena. A continuación, el comprador propone unas nuevas cantidades entre las propuestas inicialmente y las modificadas por el proveedor que le suponen un ahorro de 2100 u.m. pero un incremento para el proveedor de 300 u.m. Estas nuevas cantidades suponen un ahorro de 1800 u.m. para el coste global. Siguiendo las iteraciones, el proveedor sugiere unas nuevas cantidades que suponen un ahorro significativo. Como la función objetivo no es estrictamente convexa pueden existir óptimos

locales desde los que, un procedimiento del gradiente no puede alcanzar el mínimo global. Por consiguiente, un procedimiento sistemático que acepte, en virtud de ciertas reglas, pasar por posiciones peores que algunas ya alcanzadas puede llegar a mejores soluciones finales. En este sentido los autores implementan una regla de aceptación, parecida a la empleada en el recocido simulado con su temperatura descendente, para soluciones peores que la solución en curso. Para que el comprador acepte el juego, dado que su coste aumentará, el proveedor deberá ofrecerle un descuento adicional que compense su incremento de coste si los planes acordados se cumplen.

El esquema anterior sólo se puede implementar si los socios intercambian tanto las cantidades pedidas/suministradas como los efectos en el coste que provocan las modificaciones. Esto implica una confianza y compromiso entre ellos.

3.3.2 Aproximación mediante Relajación Lagrangiana

Para optimizar la planificación en una cadena de suministro formada por N socios mediante programación matemática, desde una perspectiva de planificación centralizada se debe considerar un único modelo que cubra los N dominios de planificación. Este modelo consiste en una función objetivo, N restricciones pertenecientes a los dominios individuales, y un conjunto de restricciones que unen los diferentes dominios a través de ecuaciones de balance. El modelo descrito puede implicar resolver un problema de gran dimensión que, puede llegar a ser intratable. Normalmente, en investigación operativa, se intenta abordar la resolución de un problema de gran tamaño a través de la descomposición y resolución de subproblemas de dimensión reducida.

Una forma estándar de descomponer el modelo original es a través de la técnica llamada relajación Lagrangiana que, eliminando las restricciones que unen los diferentes dominios de planificación del conjunto de restricciones y añadiéndolas a la función objetivo. En forma matemática, se añade el término $I(A_i X - B_i)$ donde I es un vector o multiplicador de Lagrange I_i . Sin las restricciones que unen los dominios de planificación, el problema queda dividido en N subproblemas que pueden resolverse individualmente. Dado que las soluciones óptimas dependen de I_i , estos valores se pueden utilizar para coordinar las soluciones de los submodelos. Esto se consigue mediante un procedimiento iterativo donde, dado un valor de I_i , se analiza si se viola alguna de las restricciones relajadas que, en caso afirmativo, provoca un ajuste del valor de los parámetros. Si el modelo contiene variables binarias el método iterativo puede presentar dificultades para encontrar soluciones globalmente factibles y se suele proceder a métodos heurísticos para “arreglar” soluciones obtenidas que preserven la factibilidad.

Barbarosoglu y Özgür (1999) y Ertogral y Wu (2000) desarrollan procedimientos de relajación Lagrangiana para coordinar la planificación a través de los dominios individuales.

3.4. Modelos Estratégicos

3.4.1 Productos Extendidos y Empresas Extendidas

La presión que ejerce el mercado y la tecnología existente empuja a las empresas hacia nuevas fronteras, donde emergen nuevos modelos organizativos. En el sector de la alimentación existe una demanda creciente de soluciones que migran del enfoque de proveedor al enfoque

de cliente. El enfoque de proveedor se basa en la disponibilidad de productos, en cambio el enfoque de cliente está dirigido por la demanda que, cada vez más, exige productos de calidad.

Las organizaciones que salgan beneficiadas serán aquellas que sean capaces de crear nuevas oportunidades a través de redes optimizadas y colaborativas. Hunt et al (2005) sugieren que una solución para el sector de la alimentación es el uso de los nuevos modelos eBusiness de empresas extendidas y productos extendidos.

Según Cherry and Co (2000), en Hunt et al (2005), identifican la empresa extendida como la empresa cuyo sistema informático opera dentro de una arquitectura de aplicación distribuida. Una empresa es extendida cuando su sistema de información permite conectividad con sus clientes, proveedores y distribuidores. De esta forma, el éxito radica en el esfuerzo de coordinación entre los socios que deben trabajar conjuntamente para ofrecer un producto de alto valor a los clientes. En el sector de la alimentación, en el marco del modelo de empresa extendida, una de las estrategias utilizadas para mejorar la eficiencia en las cadenas de suministro es “Quick Response” que Fisher (1997) define como una estrategia en que los proveedores y minoristas trabajan conjuntamente para dar respuesta más rápidamente a las necesidades de consumo, compartiendo información en el punto de venta para prever conjuntamente la demanda futura. Esta estrategia permite reducir el inventario, disponer de los productos cuando se necesita y aumentar la facturación.

Por otro lado, los productos dependen, cada vez más, de la información y el conocimiento. En particular, en la industria de la alimentación, cuando un cliente compra un alimento se preocupa por su origen, almacenaje y trazabilidad. Ofreciendo, a través de la cadena, además del producto físico, información adicional, el cliente puede apreciar el valor añadido que aporta, al conjunto de la cadena de suministro, una ventaja competitiva.

La combinación de productos extendidos y de empresas extendidas afectará las cadenas de suministro. En el caso de la industria de alimentos y comida la idea es conectar sus cadenas de suministro de forma que el proceso a través de todas las empresas esté totalmente integrado.

3.4.2 Coordinación Estratégica

Es habitual el caso en que un fabricante se ve obligado a tener un número reducido de proveedores, incluso uno solo, para determinados suministros críticos. Las razones pueden ser varias: existen pocos proveedores con la tecnología adecuada, se trata de una pieza de diseño exclusivo o se requiere un alto volumen para que la producción sea rentable. En estas condiciones el fabricante, una vez elegido el o los proveedores, depende del suministro para poder fabricar. De la misma forma los proveedores están invirtiendo en una capacidad de producción cuya rentabilización depende de la demanda del fabricante.

Así, en el momento de afrontar una inversión, una empresa no debe sólo analizar los riesgos internos sino también el riesgo de que un proveedor o un cliente importante no invierta en la capacidad suficiente. Cachon y Lariviere (2001) citan distintos ejemplos de fallos en el suministro por falta de capacidad: cabe destacar el hecho de que, durante los años 90, empresas de la importancia de General Motors o Boeing hayan tenido varios fallos de suministro por parte de sus proveedores que han ocasionado importantes retrasos en la producción. Por otra parte, estas mismas empresas han hecho, en ocasiones, previsiones de

venta exageradas, muy superiores a la demanda real en algunos modelos, que al ser creídas por sus proveedores les han ocasionado el subsiguiente perjuicio.

Gelpí (2004) analiza el riesgo de que, en una cadena de suministro con agentes independientes, se produzcan inversiones ineficientes debido a la descoordinación entre agentes. La descoordinación provoca que los agentes inviertan en un nivel de capacidad distinto al nivel de capacidad que optimizaría el beneficio esperado global de la cadena. También estudia cómo la utilización de algunos mecanismos de coordinación por parte de los agentes puede permitir reducir el riesgo. Para simplificar la modelización reduce el modelo de simulación a la situación de un solo proveedor. Concluye que los contratos con pagos anticipados son los mecanismos más adecuados para reducir la descoordinación si el fabricante es el agente dominante, aun en situaciones de asimetría de información. La asimetría de información perjudica más al agente líder que al agente seguidor (que puede obtener ventaja). Es por tanto beneficioso para el agente líder invertir para mejorar el nivel de información en cuanto a estructura de costes, aversión al riesgo, flexibilidad y previsión de la demanda.

3.5 Modelos Operativos

La estrategia de gestión de la cadena de suministro es crítica para competir. Las empresas deben crear habilidades que las diferencien de sus competidores. En este sentido, se está persiguiendo el modelo “build-to-order supply chain” (BOSC) en diferentes sectores. BOSC se puede definir como la configuración de empresas y habilidades, en la cadena de suministro, que proporciona mayor flexibilidad y da respuesta a los cambios en las necesidades del mercado o de los clientes de forma eficiente.

La editorial del número 23 de la revista *Journal of Operations Management* analiza diferentes aspectos en el desarrollo e implementación de BOSC que, según el autor, se está promocionando como el paradigma a nivel operativo del futuro.

4. Ejemplos Industriales

Seifert (2003) publica un estudio realizado a través de 120 empresas que han incorporado o están trabajando en proyectos de CPFR. EL 89% de las empresas encuestadas esperan obtener: mejoras en la precisión de previsiones entre los socios de operaciones, disminución en los niveles de inventario y en el stock de seguridad, reducción de stock obsoleto y mejora en los niveles de servicio e incremento de ventas. En España, Henkel, Condis y Cartisa están colaborando en un proyecto CPFR desde 2001. Éste es un de los pocos proyectos que está funcionando actualmente en que no sólo se optimiza los procesos entre el productor y el minorista sino también con el proveedor de embalajes.

De acuerdo con estudios realizados por Henkel, los minoristas tienen un ratio de rotura de stock entre el 10 i el 18% aunque el nivel de servicio en el centro de distribución es del 98.5 al 99.5. Según Henkel, el problema está en el área de promociones. El proyecto actual ha incrementado ya la precisión de las previsiones en un 15% desde mayo del 2001 ofreciendo a los socios mejorar su ratio de roturas de stock.

Otro aspecto destacable de este proyecto es la inclusión del proveedor de embalajes en el acuerdo de cooperación. Esto muestra que para tener los productos disponibles, en el momento adecuado, en la cantidad y calidad acordada depende también de los proveedores de

subcomponentes. La planificación, previsión y el control de inventario entre el proveedor y el fabricante debe estar sincronizado en el mismo sentido que entre el fabricante y el minorista.

Akkermans et al (2004) estudian la implantación de un proceso de planificación colaborativa en una cadena de suministro formada por un fabricante de circuitos integrados, un conjunto de ensambladores y un fabricante de componentes innovadores para ordenadores personales. Los objetivos iniciales del proyecto eran: incrementar su cuota de mercado agilizando su tiempo de respuesta, mejorar la disponibilidad de materiales y disminuir el coste a través de la disminución de los niveles de inventario y la obsolescencia. Vieron además, que colaborando a nivel de flujo de materiales les permitiría colaborar en otras áreas como en el diseño de producto, de la cadena de suministro o de capacidad. El proyecto implicó crear canales de información, formas de colaboración y un sistema de soporte a la decisión. El estudio demostró que la colaboración en la cadena de suministro requiere, además de sistemas de soporte a la decisión, confianza y transparencia en la información intercambiada.

Referencias

- Ackoff, R. L. (1967). Management Misinformation Systems, *Management Science*, 14 (4) 147-156
- Akkermans, H.; Bogerd, P.; Doremalen, J. (2004). Travail, transparency and trust: A case study of computer-supported collaborative supply Chain planning in high-tech electronics. *European Journal of Operational Research*, 153: 445-456
- Angerhofer, B.J.; Angelides, M.C. (2000), System dynamics modelling in supply chain management: research review, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Joines et al. eds.
- Arrow, K.A.; Harris, T.E.; Marschak, J. (1951). Optimal inventory policy. *Econometrica* 19: 250-272.
- Barbarosoglu, G.; Özgür, D. (1999). Hierarchical design of an integrated production and two-echelon distribution system, *European Journal of Operational Research*, 118: 464-484
- Bhatnagar, R.; Chandra, P.; Goyal, S.K. (1993). Models for multi-plant coordination, *European Journal of Operational Research*, 67: 141-160
- Bourland, K.E.; Powell, S.G.; Pyke, D.F. (1996). Exploiting timely demand information to reduce inventories, *European Journal of Operational Research*, 92: 239-253
- Cachon, G.P.; Fischer, M. (2000). Supply chain inventory management and the value of shared information, *Management Science*, 46(8):1032-1048
- Cachon, G.P. (2001). Supply Chain coordination with contracts, working paper, The Wharton School of Business, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Cachon, G. P.; Larivière, M. A. (2001). Contracting to assure supply: how to share demand forecast in a supply chain *Management Science* 47 (5): 629-646
- Chen, F.; Federgruen, A.; Zheng, Y.S. (2001). Coordination mechanisms for a distribution system with one supplier and multiple retailers, *Management Science*, 47(5):693-708
- Christopher, M. (1998). Logistics and Supply Chain Management. Strategies for Reducing Cost and Improving Service. 2ª ed. London
- Chopra; Meindl. (2001). Supply Chain Management – Strategy, Planning, and operation, *Upper Saddle River*
- Clark, A.J.; Scarf, H. (1960). Optimal policies for a multi-echelon inventory problem, *Management Science*, 6: 475-490
- Comanys, R. (2003). Teoría de la decisión. Publicacions D'Abast S.L.L.
- Comanys, R. (2005). Diseño de sistemas productivos y logísticos. EPSEB-UPC

- Corbett, C.J.; Groote, X. (2000). A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information, *Management Science*, 46(3):444-450
- Corbett, C.J.; DeCroix, G.A. (2001). Shared-Savings contracts for indirect materials in supply chains: channel profits and environmental impacts, *Management Science*, 47, (7):881-893
- Corbett, C.J.; DeCroix, G.A.; Ha, A.Y. (2005). Optimal shared-savings contracts in supply chains: linear contracts and double moral hazard, *European Journal of Operational Research*, 163, 653-667
- Dudek, G.; Stadler, H. (2005). Negotiation-based collaborative planning between supply chain partners, *European Journal of Operational Research*, 163: 668-687
- Ertogral, K.; Wu, S.D. (2000). Auction-theoretic coordination of production planning in the supply chain, *IIE Transactions*, 32(10):931-940
- Fisher, M.L. (1997). What is the right supply chain for your product?, *Harvard Business Review*, 75: 105-116
- Forrester, J.W. (1958). Industrial Dynamics, A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 36(4):37-66
- Forrester, J.W. (1961). Industrial Dynamics, Portland (OR): *Productivity Press*
- Gelpi, J. (2004). *Coordinación entre agentes independientes en las decisiones de inversión de capacidad de producción basadas en previsiones de ventas* Tesis Doctoral, UPC
- Hunt, I.; Brian, W.; Jadgev, H. (2005). Applying the concepts of extended products and extended enterprises to support the activities of dynamic supply networks in the agri-food industry, *Journal of Food Engineering*, 70: 393-402
- Lariviere, M.A.. (1999). Supply Chain contracting and coordination with stochastic demand, S. Tayur, R. Ganeshan, M. Magazine, eds. *Quantitative Methods for Supply Chain Management*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, M.A.
- Lee, H.L.; Rosenblatt, M.J. (1986). A generalized quantity discount pricing model to increase supplier's profits, *Management Science*, 32: 1179-1187
- Lee, H.; Whang, S. (1999). Decentralized multi-echelon supply chains: incentives and information, *Management Science*, 45(5):633-640
- Lee, H.L.; Kut, C.S.; Tang, C.S. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain, *Management Science*, 46(5):626-643
- Mer, H.; Wagner, M.; Rohde, J. (2002). Structure of advanced planning systems. In Stadler, H.; Kilger, C. (Eds.), *Supply Chain Management and Advanced Planning. Concepts, Models, Software and Case Studies*. Berlin, 99-104
- Monahan, J.P. (1984). A quantity discount pricing model to increase vendor profits, *Management Science*, 36(6):720-726
- Morse, M.P.; Kimbal, G.E. (1951). *Methods of operations research*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Nash, J.F. (1950). The bargaining problem, *Econometrica* 18: 155-162
- Reiman, M.I.; Wein, L.M.; Chen, F. (1998). Echelon reorder points, installation reorder points and the value of centralized demand information, *Management Science*, 44(2):693-708
- Seifert, D. (2003). Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment. How to create a Supply Chain Advantage. *Amacom*
- Simpson, N.C., Erengüç, S.S. (2001). Modeling the order picking function in supply chain systems: formulation, experimentation, and insights, *IIE Transactions*, 33: 119-130
- Shen, W.; Norrie, D.H. (1999). Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey. *Knowledge and Information Systems, an International Journal*, 1(2):129-156
- Shen, W.; Kremer, R.; Ulieru, M.; Norrie, D.A. (2003). Collaborative agent-based infrastructure for Internet-enabled collaborative enterprises, *International Journal of Production Research*, 41(8):1621-1638

Stadler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges, *European Journal of Operational Research*, 163: 575-588

Weng, Z.K. (1995). Channel coordination and quantity discounts, *Management Science*, 41(9):1509-1522